

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»
(МИЭТ)



ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

«Микроэлектромеханические системы»

Программа повышения квалификации разработана в Центре НТИ «Сенсорика» с целью формирования у слушателей компетенций, необходимых для разработки и практического использования сквозных технологий Национальной технологической инициативы.

Москва
2018г.

1. Цель реализации программы

Цель: Программа направлена на получение новой компетенции: способность использовать знания о современном состоянии отдельных видов МЭМС в своей профессиональной деятельности, необходимой для повышения профессионального уровня в рамках имеющейся квалификации, соответствующей отдельным обобщенным трудовым функциям (ОТФ) профстандартов:

1. Инженер-электроник в области проектирования микро- и наноразмерных электромеханических систем и их элементов на поведенческом, схемотехническом и физическом уровнях описания (ОТФ С. Разработка физического прототипа микроэлектромеханической системы. С/01.6 Определение возможных вариантов физической реализации микромеханических компонентов микроэлектромеханической системы).
2. Инженер в области разработки комплекта конструкторской и технической документации на микроэлектромеханическую схему (ОТФ Ф. Разработка комплекта конструкторской и технической документации на микроэлектромеханическую систему. F/01.7 Организация разработки технических описаний на отдельные функциональные блоки микроэлектромеханической системы).

2. Требования к результатам обучения

Планируемые результаты обучения

В результате освоения программы слушатель должен приобрести следующие знания и умения, необходимые для качественного изменения компетенции, указанной в п. 1:

слушатель должен знать:

- основные виды существующих МЭМС, принципы их функционирования, значимые преимущества и технические ограничения;
- принципы преобразования различных физических величин в электрический сигнал;
- принципы построения МЭМС.

слушатель должен уметь:

- использовать рекомендации для проектирования МЭМС.

3. Содержание программы

Учебный план
программы повышения квалификации
«Микроэлектромеханические системы»

Категория слушателей – сотрудники предприятий, профессиональная деятельность которых связана с исследованием и разработкой МЭМС

Срок обучения - 72 часа.

Форма обучения – очная/ заочная с применением дистанционных образовательных технологий и электронных модулей.

№ п/п	Наименование разделов	Все го, час.	В том числе					
			лекции		практич. и лаборат. занятия		Самостоятельная работа	
			очная	заочная	очная	заочная	очная	заочная
1	Понятие МЭМС. Классификация МЭМС датчиков. Области применения. Достоинства и недостатки МЭМС датчиков.	10	10	2	-	-	-	8
2	Материалы для изготовления МЭМС датчиков. Особенности технологий изготовления МЭМС датчиков.	12	10	-	-	-	2	12
3	Технологический процесс изготовления МЭМС датчиков (основные этапы).	10	8	-	2	2	-	8
4	МЭМС-акселерометры. Области применения. Классификация ЧЭ. Типы системы съема информации.	8	8	-	-	-	-	8
5	Основные характеристики МЭМС-акселерометров. Методы определения основных характеристик. Используемое оборудование.	12	10	-	2	2	-	10
6	МЭМС-гироскопы. Области применения. Классификация ЧЭ. Типы системы съема информации.	8	-	-	-	-	8	8
7	Основные характеристики МЭМС-гироскопов. Методы определения основных характеристик. Используемое оборудование.	12	10	-	2	2	-	10
Итоговая аттестация			Зачет					

Учебно-тематический план
программы повышения квалификации
«Микроэлектромеханические системы»

№ п/ п	Наименование разделов и тем	Все го, час.	В том числе					
			лекции		практич. и лаборат. занятия		Самостоят ельная работа	
			очн ая	заоч ная	очн ая	заоч ная	очн ая	заоч ная
1	Понятие МЭМС. Классификация МЭМС датчиков. Области применения. Достоинства и недостатки МЭМС датчиков.	10	10	2	-	-	-	8
1.1	Понятие МЭМС. Области применения. Достоинства и недостатки МЭМС датчиков.	4	4	2	-	-	-	4
1.2	Классификация МЭМС датчиков.	6	6	-	-	-	-	4
2	Материалы для изготовления МЭМС датчиков. Особенности технологий изготовления МЭМС датчиков. Особенности используемого оборудования.	12	10	-	-	-	2	12
2.1	Материалы для изготовления МЭМС датчиков.	4	4	-	-	-	-	4
2.2	Особенности технологий изготовления МЭМС датчиков. Особенности используемого оборудования.	8	6	-	-	-	2	8
3	Технологический процесс изготовления МЭМС датчиков (основные этапы).	10	8	-	2	2	-	8
3.1	Подготовка и обработка пластин.	2	2	-	-	-	-	2
3.2	Изготовление изделий	4	4	-	-	-	-	4
3.3	Этап сборки изделий	2	2	-	-	-	-	2
3.4	Изучение особенностей этапа сборки МЭМС датчиков (конкретного типа), обсуждение вопросов, подготовка общего алгоритма.	2	-	-	2	2	-	-
4	МЭМС-акселерометры. Области применения. Классификация. Типы систем съема информации.	8	8	-	-	-	-	8
4.1	Особенности МЭМС-акселерометров. Области применения.	3	3	-	-	-	-	3
4.2	Классификация ЧЭ МЭМС-акселерометров.	2	2	-	-	-	-	2
4.3	Типы систем съема информации.	3	3	-	-	-	-	3

5	Основные характеристики МЭМС-акселерометров. Методы определения основных характеристик. Используемое оборудование.	12	10	-	2	2	-	10
5.1	Основные характеристики МЭМС-акселерометров.	4	4	-	-	-	-	4
5.2	Методы определения основных характеристик.	4	4	-	-	-	-	4
5.3	Используемое оборудование.	2	2	-	-	-	-	2
5.4	Изучение особенностей определения основных параметров МЭМС-акселерометров, обсуждение вопросов, подготовка общей методики.	2	-	-	2	2	-	-
6	МЭМС-гироскопы. Области применения. Классификация ЧЭ. Типы систем съема информации.	8	-	-	-	-	8	8
6.1	Особенности МЭМС-гироскопов. Области применения.	3	-	-	-	-	3	3
6.2	Классификация ЧЭ МЭМС-гироскопов	2	-	-	-	-	2	2
6.3	Типы систем съема информации.	2	-	-	-	-	2	2
7	Основные характеристики МЭМС-гироскопов. Методы определения основных характеристик. Используемое оборудование.	12	10	-	2	2	-	10
7.1	Основные характеристики МЭМС-гироскопов.	4	-	-	-	-	4	4
7.2	Методы определения основных характеристик.	4	-	-	-	-	4	4
7.3	Используемое оборудование.	2	-	-	-	-	2	2
7.4	Изучение особенностей определения основных параметров МЭМС-гироскопов, обсуждение вопросов, подготовка общей методики.	2	-	-	2	2	-	-

Учебная программа
повышения квалификации «Микроэлектромеханические системы»

Раздел 1. Понятие МЭМС. Классификация МЭМС датчиков. Области применения. Достоинства и недостатки МЭМС датчиков. (8 часов.)

Тема 1.1 Понятие МЭМС. Области применения. Достоинства и недостатки МЭМС датчиков. (4 часа)

Понятие МЭМС.

- 1..... Достоинства и недостатки МЭМС.
- 2..... Области применения МЭМС.
- 3..... Примеры МЭМС: микромеханические датчики угловой скорости, микромеханические акселерометры, микромеханические датчики давления и др.

Тема 1.2 Классификация МЭМС датчиков (4 часа).

- 1..... Понятие чувствительного элемента (ЧЭ). Состав ЧЭ.
- 2..... Классификация по типам преобразования перемещений микромеханических датчиков.

Раздел 2. Материалы для изготовления МЭМС датчиков. Особенности технологий изготовления МЭМС датчиков. Особенности используемого оборудования (12 часов.)

Тема 2.1 Материалы для изготовления МЭМС датчиков. (4 часа)

1. Виды материалов, используемых для изготовления МЭМС.
2. Особенности кремния, основные сведения о свойствах.

Тема 2.2 Особенности технологий изготовления МЭМС датчиков. (8 часа)

- 1.... Анизотропное травление кремния для формирования ЧЭ МЭМС. Особенности.
- 2.... Плазмохимическое травление кремния.
- 3.... Оборудование, используемое при изготовлении МЭМС-датчиков.

Раздел 3 Особенности технологий изготовления МЭМС датчиков. (4 часа)

Тема 3.1 Подготовка и обработка пластин

1. Фотошаблоны, этапы совмещения

Тема 3.2 Изготовление изделий.

- 1..... Литография

- 2..... Травление
- 3..... Контроль проводимых процессов

Тема 3.3 Этап сборки изделий.

- 1.....Анодное сращивание;
- 2.....Контроль.

Раздел 4 МЭМС-акселерометры. Области применения. Классификация ЧЭ. Типы систем съема информации (8 часов)

Тема 4.1 Особенности МЭМС-акселерометров. Области применения.

- 1..... Особенности МЭМС-акселерометров
- 2..... Области применения МЭМС-акселерометров

Тема 4.2 Классификация ЧЭ МЭМС-акселерометров.

- 1..... По типу перемещения ЧЭ: угловое, линейное;

Тема 4.3 Типы съема информации.

- 1.....Емкостная;
- 2..... Магнитоэлектрическая.
- 3..... Пьезоэлектрическая.
- 4..... Тензоэлектрическая.

Раздел 5 Основные характеристики МЭМС-акселерометров. Методы определения основных характеристик. Используемое оборудование. (8 часов)

Тема 5.1 Основные характеристики МЭМС-акселерометров.

- 1..... Уравнение выходного сигнала в общем виде.
- 2..... Статические характеристики.
- 3..... Динамические характеристики.

Тема 5.2 Методы определения основных характеристик

- 1.....Метод наклонов для определения статических характеристик;
- 2.....Косвенный метод для определения динамических характеристик (при помощи вибростенда).

Тема 5.3 Используемое оборудование.

- 1..... Оптическая делительная головка или поворотный стол;
- 2.....Центрифуга;
- 3.....Вибростенд.

Раздел 6 Основные характеристики МЭМС-гироскопов. Методы определения основных характеристик. Используемое оборудование. (8 часов)

Тема 6.1 Основные характеристики МЭМС-гироскопов.

- 1..... Уравнение выходного сигнала в общем виде.
- 2..... Статические характеристики.
- 3..... Динамические характеристики.

Тема 6.2 Методы определения основных характеристик

- 1..... Метод наклонов для определения статических характеристик;
- 2..... Косвенный метод для определения динамических характеристик (при помощи вибростенда).

Тема 6.3 Используемое оборудование.

- 1..... Оптическая делительная головка или поворотный стол;
- 2..... Центрифуга;
- 3..... Вибростенд.

Раздел 7 Основные характеристики МЭМС-гироскопов. Методы определения основных характеристик. Используемое оборудование. (8 часов)

Тема 7.1 Основные характеристики МЭМС-гироскопов.

- 1..... Уравнение выходного сигнала в общем виде.
- 2..... Статические характеристики.
- 3..... Динамические характеристики.

Тема 7.2 Методы определения основных характеристик

- 1..... Вариация Аллана для оценки случайных погрешностей;
- 2..... Косвенный метод для определения динамических характеристик (при помощи вибростенда).

Тема 7.3 Используемое оборудование.

- 1..... Центрифуга;
- 2..... Вибростенд;
- 3..... Камера тепла-холода.

4. Материально-технические условия реализации программы

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
1	2	3
Аудитория	лекции	компьютер, мультимедийный проектор, экран, доска
Участок испытаний МЭМС-изделий	практика	Оборудование для проведения испытаний МЭМС-изделий, опытные образцы для демонстрации

5. Учебно-методическое обеспечение программы

Раздел 1

1. Мальцев П.П. От исследований к разработкам // Нано- и микросистемная техника. Москва. Техносфера. 2005. С. 592.
2. Вавилов В.Д. Интегральные датчики. 2003. С. 270–315.
3. Распопов В.Я. Микромеханические приборы: Уч. пос.- Тула.: ТулГУ. 2002. С. 7–95.

Раздел 2

1. Распопов В.Я. Микромеханические приборы: Уч. пос.- Тула.: ТулГУ. 2002. С. 7–95.
2. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам. Сборник статей под редакцией д.т.н., профессора П.П. Мальцева. Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.
3. Гридчин В.А., Драгунов В.П.. Физика микросистем. Учебное пособие. В 2ч.Ч.1. – Новосибирск: НГТУ. 2004. – 416 с.

6. Оценка качества освоения программы

Образовательное учреждение, реализующее программу курса, обеспечивает организацию и проведение текущего и промежуточного контроля – демонстрирующим обучающимися знаний, умения и полученного опыта практической деятельности.

Текущий контроль проводится преподавателем на основе оценки результатов выполненной практических заданий (Приложение 1);

Итоговый контроль проводится комиссией, состоящей из преподавателей и представителей профессионального сообщества по результатам защиты выполненной самостоятельной работы (Приложение 1).

Баллами оцениваются: выполнение каждого практического задания (в сумме 40 баллов), сдача проектного задания (60 баллов). По сумме баллов выставляется итоговая оценка по курсу. Структура и сроки сдачи контрольных мероприятий, а также детальная схема начисления баллов представлена в таблице ниже.

Структура и график контрольных мероприятий

№ занятия	1	2	3	4	Проектное задание
Практическое занятие	+	+	+	+	
Минимальный балл	5	5	5	5	30
Максимальный балл	10	10	10	10	60

При выставлении итоговой оценки используется следующая шкала:

Сумма баллов	Оценка
Менее 60	Не зачтено
61 – 100	Зачтено

9. Составители программы

Тимошенко С.П., д.т.н, проф., (раздел 1- раздел 7);

Калугин В.В., д.т.н., проф. (раздел 1- раздел 3);

Кочурин Е.С., к.т.н. (раздел 4- раздел 7).



Вопросы для практических и самостоятельных работ.

1. Вопросы для практических заданий.

Практическое задание 1: По результатам обсуждений особенностей этапа сборки МЭМС-акселерометров и МЭМС-гироскопов необходимо разработать алгоритм сборки МЭМС-датчика указанного типа, выявить и внести в алгоритм контрольные точки этапа сборки. Разработанный алгоритм оформить и передать преподавателям для получения оценки.

Практическое задание 2: По результатам обсуждений особенностей определения основных параметров МЭМС-акселерометров разработать алгоритм проведения испытаний (в виде блок-схемы). Разработанный алгоритм оформить и передать преподавателям для получения оценки.

Практическое задание 3: По результатам обсуждений особенностей определения основных параметров МЭМС-гироскопов разработать алгоритм проведения испытаний (в виде блок-схемы). Разработанный алгоритм оформить и передать преподавателям для получения оценки.

2. Темы для самостоятельных работ, оцениваемых на итоговом контроле.

Разработанный материал оформить в виде отдельного документа и предоставить преподавателям для получения оценки. Необходимо подготовить обзорный материал по следующим темам:

- 1) Особенности жидкостного травления кремния для получения ЧЭ МЭМС-датчиков.
- 2) Особенности плазмохимического травления кремния для получения ЧЭ МЭМС-датчиков.
- 3) Особенности сборки монтажа МЭМС-датчиков.
- 4) Достоинства и недостатки МЭМС-датчиков с емкостной системой съема сигнала: особенности конструкции.
- 5) Достоинства и недостатки МЭМС-датчиков с магнитоэлектрической системой съема сигнала: особенности конструкции.
- 6) Тензорезисторные преобразователи: особенности конструкции.
- 7) Виды испытаний МЭМС-датчиков.
- 8) Требования к рабочему помещению и оборудованию при проведении испытаний.